

18 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 44 35 796 C 1

51 Int. Cl. 4:  
G 06 K 9/66  
G 06 T 1/40

21 Aktenzeichen: P 44 35 796.6-53  
22 Anmeldetag: 6. 10. 94  
43 Offenlegungstag: —  
46 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 7. 12. 95

DE 44 35 796 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:

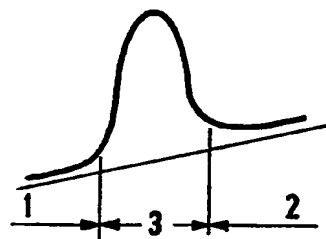
Barth, Karl, Dr.-Ing., 91315 Höchstadt, DE; Eicker,  
Birgit, 91056 Erlangen, DE; Tatzko, Joachim,  
Dipl.-Inform. (FH), 90768 Fürth, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

BOW, Sing-Tze: »Pattern Recognition« Marcel  
Dekker 1984, pp. 232-239;  
Informatik-Fachberichte 107  
»Mustererkennung 1985«, Springer-Verlag 1985,  
S. 196-200;  
Informatik-Fachberichte 219  
»Mustererkennung 1989«, Springer-Verlag 1989,  
S. 201-209;  
Informatik-Fachberichte 254,  
»Mustererkennung 1990«, Springer-Verlag 1990,  
S. 493-502;

54 Verfahren zur automatischen Erkennung von Kanten und Durchmessern in Bildern

- 57 Es soll ein Verfahren geschaffen werden, das es erlaubt, in digitalen Bildern, vorzugsweise Röntgenbildern, genau automatische Kanten und sehr kleine Durchmesser durch digitale Bildauswertung zu erkennen.  
Das Verfahren ist durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet:  
Verwendung eines seitenspezifischen Faltungskerns,  
Verwendung der Korrelation statt der einfachen Konvolution,  
Normierung des Faltungsergebnisses mit den Standardabweichungen von Daten und Faltungskern auf den definierten Wertebereich zwischen -1,0 und 1,0 zur Bestimmung des besten Matches,  
Realisierung der Korrelationsfunktion durch Normierung mit  $\sigma_f^2$ , wobei  $\sigma_f$  die Standardabweichung innerhalb einer Bildzeile  $f$  ist,  
Einzelanalyse der verbleibenden kleinen Pixelmenge in einem problemadaptiven Verfahren.



DE 44 35 796 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatischen Erkennung von Kanten und Durchmessern in Bildern, vorzugsweise Röntgenbildern, durch digitale Bildauswertung.

5 In der Röntgentechnik und auch in anderen medizintechnischen bildgebenden Verfahren besteht die Aufgabe, bei digitalen oder digitalisierten Aufnahmen Kanten und Durchmesser automatisch zu erkennen, um z. B. in der Angiographie Gefäßstenosen feststellen zu können. Es sind Verfahren zur automatischen Durchmesserbestimmung bekannt, die jedoch bei sehr kleinen Durchmessern versagen.

10 In Sing-Tze Bow "Pattern Recognition" Marcel Dekker 1984, Seiten 232—239, ist ein statistisches Verfahren zur Bildverbesserung beschrieben, bei dem eine Faltung angewendet wird. In Informatik-Fachberichte 107 "Mustererkennung 1985", Springer-Verlag 1985, Seiten 196—200, ist ein allgemeiner Vorschlag beschrieben, wie Fuzzy Sets angewendet werden könnten, ohne daß hierzu detaillierte Angaben gemacht sind. In Informatik-Fachberichte 219 "Mustererkennung 1989", Springer-Verlag 1989, Seiten 201—209, und Informatik-Fachberichte 254 "Mustererkennung 1990", Springer-Verlag 1990, Seiten 493—502, sind Verfahren zur Hervorhebung von Bildstrukturen und zur Erkennung geometrischer Muster beschrieben.

15 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, das es erlaubt, die Kantenlage und Durchmesser mit höchster Zuverlässigkeit zu bestimmen, und zwar insbesondere auch bei sehr kleinen Durchmessern, wobei die Fehler minimiert sind.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Patentanspruches 1.

20 Gegenüber dem Stand der Technik ergeben sich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren folgende Verbesserungen:

1. Verwendung eines seitenspezifischen Faltungskerns (Templates).
2. Verwendung der Korrelation statt der einfachen Konvolution mit zwei Vorteilen:
  - 2.1 Normierung des Faltungsergebnisses mit den Standardabweichungen von Daten und Template auf den definierten Wertebereich zwischen 0 und 1.0 zur Bestimmung des besten Matches.
  - 2.1 Damit auch Ausgleich der Pegelabhängigkeit vom Signalhintergrund.
  - 2.3 Optimales Signal-Rauschverhältnis = minimale Quadratfehlersumme.
3. Suboptimale Realisierung dieser Korrelationsfunktion durch Normierung mit  $\sigma^2$ , wodurch die Rechenzeit mehr als halbiert wird.
4. Verfeinerung der Kantenerkennung auf dieser optimal stabilen Basis durch Einzelanalyse der verbleibenden kleinen Pixelmenge in einem problemadaptiven Verfahren.
5. Umsetzung der Verfeinerung, vorzugsweise mittels eines neuronalen Fuzzy-Netzes.

35 Für die Objekterkennung erfolgt die Korrelation der Bildzeilen mit einem seitenspezifischen Faltungskern. Eine Kante wird jeweils dort angenommen, wo der Kern dem Gefäßprofil am ähnlichsten ist, d. h. wo die Korrelationsfunktion ein Maximum besitzt. Der Durchmesser ergibt sich direkt aus dem Abstand der seitenspezifischen Maximapositionen.

Mit der optimierten Korrelation können trotz einer Operatorgröße von fünf Pixeln links und rechts Gefäße ab einem Durchmesser von vier Pixeln differenziert und gemessen werden.

40 Die Erfindung beinhaltet nun noch den weiteren wesentlichen Gedanken, daß die einzelnen Pixelwerte von Objekten, deren Durchmesser sich im Grenzbereich bewegen, zusätzlich z. B. mit einem densitometrischen Schwellwertverfahren untersucht werden. Für diese feinsten Strukturen wurde ein adaptives Verfahren für wenige Pixel entwickelt.

45 Die Erfindung ist nachfolgend anhand der in den Fig. 1 bis 4 dargestellten Kurven näher erläutert.

In der Fig. 1 bezeichnen die Pfeile 1 und 2 den Hintergrund und der Pfeil 3 das Gefäß in einem röntgenologischen Bild. Nach Hintergrundsubtraktion ergibt sich ein Kurvenverlauf gemäß Fig. 2. Basierend auf den bei der Korrelation gefundenen Kanten wird ein Objekt-/Gefäßprofil bestimmt, einer Hintergrundkorrektur unterzogen und dann das Maximum des Profils berechnet.

50 Liegen die Grauwerte oberhalb einer prozentualen Schwelle von z. B. 75% dieses Maximums, so werden sie dem Gefäß zugeordnet, liegen sie unterhalb dieser Schwelle, so werden sie dem Hintergrund zugeordnet und die mit der Korrelation gefundene Kante wird an dieser Position korrigiert.

Die Fig. 3 und 4 zeigen beispielsweise das durch die Linie 4 gekennzeichnete Maximum und die durch die Linie 5 gekennzeichnete Schwelle. Die Fig. 3 zeigt die Kantenerkennung mit dem Korrelationsverfahren bei einem Gefäß unter vier Pixel und die Fig. 4 die Kantenkorrektur über das Schwellwertverfahren.

55 Dabei werden zusätzlich über Entscheidungstabellen die Zusammenhänge der Pixel vom Objektrand zum gegenüberliegenden Objektrand berücksichtigt und je nach Ergebnis als zugehörig zum Objekt oder zum Rauschen bzw. Bildhintergrund klassifiziert.

60 Genauso können Regeln für eine pixelweise oder sogar subpixelweise Klassifikation automatisch und verallgemeinert mittels der Technik der neuronalen Netze ermittelt werden, wobei die Fuzzy-Erweiterung vor allem Rauscheffekten, besonders dem Röntgen-Rauschen Rechnung tragen kann. Ergebnis dieses Ansatzes ist ein neuronales Netzwerk, das in ähnlicher Weise Hyper-Resolution ermöglicht wie beim zuvor erläuterten adaptiven Ansatz.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur automatischen Erkennung von Kanten und Durchmessern in Bildern durch digitale Bildauswertung mit folgenden Verfahrensschritten:

Verwendung eines seitenspezifischen Faltungskerns,  
 Verwendung der Korrelation statt der einfachen Konvolution, wobei der Durchmesser direkt aus dem  
 Abstand der seitenspezifischen Maximapositionen nach folgender Beziehung berechnet wird:

$$r(k) = \frac{\sum_i^n (f(i+k) - \bar{f}) \times (g(i) - \bar{g})}{\sigma_f \times \sigma_g} \quad 5$$

$r(k)$  Korrelationsmaß in Position  $k$  10  
 $g(i)$  Faltungskern  
 $i = 1 \dots n, n = \text{Länge des Kerns}$   
 $f(i+k)$  Grauwerte aus einer Bildzeile (senkrecht zum Gefäß)  
 $\bar{f}$  mittlerer Grauwert der Bildzeile  
 $\bar{g}$  mittlerer Wert des Faltungskerns 15  
 $\sigma_f, \sigma_g$  Standardabweichung innerhalb der Bildzeile  $f$  bzw. des Kerns  $g$ .

Normierung des Faltungsergebnisses mit den Standardabweichungen von Daten und Faltungskern auf den  
 definierten Wertebereich zwischen  $-1.0$  und  $1.0$  zur Bestimmung des besten Matches,  
 Realisierung der Korrelationsfunktion durch Normierung mit  $\sigma_f^2$ , wobei  $\sigma_f$  die Standardabweichung inner- 20  
 halb einer Bildzeile  $f$  ist,  
 Einzelanalyse der verbleibenden kleinen Pixelmenge in einem problemadaptiven Verfahren.  
 2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Einzelanalyse mittels eines neuronalen Fuzzy-Netzes erfolgt.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen 25

30

35

40

45

50

55

60

65

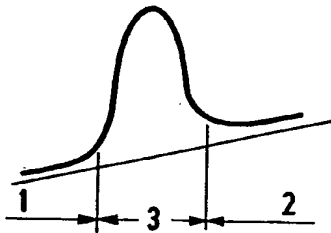


FIG 1

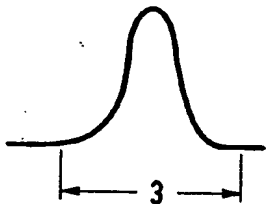


FIG 2

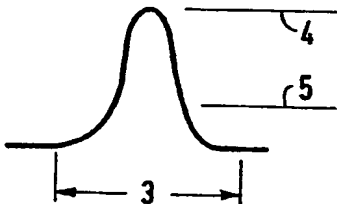


FIG 3

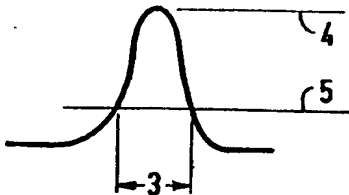


FIG 4